

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
31. Mai 2018 (31.05.2018)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2018/096030 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation: H02J 3/14 (2006.01) H02J 3/38 (2006.01) (72) Erfinder: BROMBACH, Johannes; Roedernallee 70, 13437 Berlin (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/080193 (74) Anwalt: EISENFÜHR SPEISER PATENTANWÄLTE RECHTSANWÄLTE PARTGMBB et al.; Postfach 10 60 78, 28060 Bremen (DE).
- (22) Internationales Anmeldedatum: 23. November 2017 (23.11.2017) (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 10 2016 122 580.0 23. November 2016 (23.11.2016) DE
- (71) Anmelder: WOBLEN PROPERTIES GMBH [DE/DE]; Borsigstraße 26, 26607 Aurich (DE).

(54) Title: METHOD FOR FEEDING ELECTRICAL POWER INTO AN ELECTRICAL SUPPLY NETWORK

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM EINSPEISEN ELEKTRISCHER LEISTUNG IN EIN ELEKTRISCHES VERSORGNUNGSNETZ

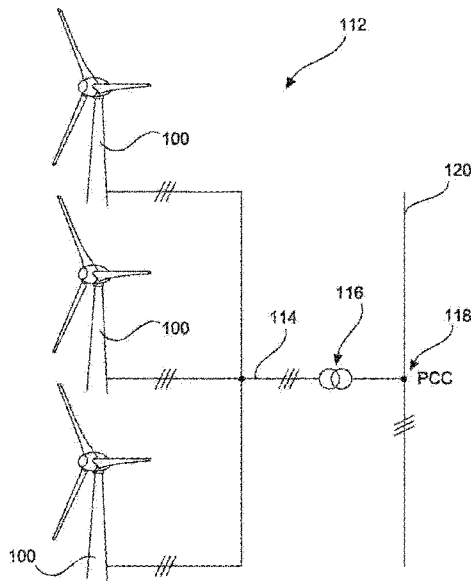


Fig. 2

(57) Abstract: The invention relates to a method for supplying electrical power to an electrical supply network by means of at least one wind turbine at a network connection point, wherein the at least one wind turbine comprises an aerodynamic rotor with rotor blades and the rotor has a moment of inertia and can be operated at a variable rotor speed, the at least one wind turbine comprises a generator for generating a generator output, a plurality of energy producers supply power to the electrical supply network and a plurality of consumers take power from the electrical supply network, such that a power balance between the supplied power and the removed power is produced in the electrical supply network, which is positive when more power is being supplied than removed. The method comprises the following steps: supplying a basic amount of electrical power according to the amount of wind power available; specifying an amount of auxiliary power that is to be additionally supplied and supplying the specified amount of auxiliary power that is to be additionally supplied in order to assist the electrical supply network, wherein an amount of auxiliary energy available for the auxiliary power that is to be supplied is determined and the auxiliary power that is to be additionally supplied is specified according to the determined amount of auxiliary energy available.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Einspeisen elektrischer Leistung in ein elektrisches Versorgungsnetz mittels wenigstens einer Windenergieanlage an einem Netzanschlusspunkt, wobei die wenigstens eine Windenergieanlage einen aerodynamischen Rotor mit Rotorblättern aufweist und der Rotor ein Trägheitsmoment aufweist und mit variabler Rotordrehzahl betrieben werden kann, die wenigstens eine Windenergieanlage einen Generator aufweist zum Erzeugen einer Generatorleistung, mehrere Energieerzeuger Leistung in das elektrische Versorgungsnetz einspeisen und mehrere Verbraucher Leistung aus dem elektrischen Versorgungsnetz entnehmen, so dass sich im elektrischen Versorgungsnetz eine Leistungsbilanz zwischen der eingespeisten und der entnommenen Leistung ergibt, die positiv ist, wenn mehr Leistung eingespeist als



WO 2018/096030 A1

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

entnommen wird, und das Verfahren umfasst die Schritte: Einspeisen einer elektrischen Grundleistung in Abhängigkeit verfügbarer Windleistung, Vorgeben einer zusätzlich einzuspeisenden Stützleistung und zusätzliches Einspeisen der vorgegebenen zusätzlich einzuspeisenden Stützleistung zur Stützung des elektrischen Versorgungsnetzes, wobei eine zur einzuspeisenden Stützleistung verfügbare Stützenergiemenge bestimmt wird und das Vorgeben der zusätzlich einzuspeisenden Stützleistung in Abhängigkeit der bestimmten verfügbaren Stützenergiemenge erfolgt.

Verfahren zum Einspeisen elektrischer Leistung in ein elektrisches Versorgungsnetz

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Einspeisen elektrischer Leistung in ein elektrisches Versorgungsnetz. Außerdem betrifft die vorliegende Erfindung eine Windenergieanlage zum Einspeisen elektrischer Leistung in ein elektrisches Versorgungsnetz. Außerdem betrifft die vorliegende Erfindung einen mehrere Windenergieanlagen aufweisenden Windpark zum Einspeisen elektrischer Leistung in ein elektrisches Versorgungsnetz.

Das Einspeisen elektrischer Leistung mittels Windenergieanlagen oder Windparks in ein elektrisches Versorgungsnetz ist bekannt. Bekannt ist inzwischen auch, mit Windenergieanlagen oder Windparks sogenannte Systemdienstleistungen anzubieten, die helfen, das elektrische Versorgungsnetz elektrisch zu stützen und/oder zu verbessern.

Besonders problematisch ist es, wenn zum Stützen des elektrischen Versorgungsnetzes die einzuspeisende Leistung erhöht werden soll, weil Windenergieanlagen regelmäßig so viel Leistung einspeisen, wie sie aktuell dem Wind entnehmen können. Dazu wurde zur Verbesserung bereits für kurzfristige Leistungserhöhungen vorgeschlagen, Leistung aus der Schwungmasse des sich drehenden Rotors zu verwenden. Wird aber mit erhöhter Leistung eingespeist und dazu Leistung aus dem drehenden Rotor verwendet, verlangsamt sich dieser, sodass die entsprechend erhöht eingespeiste Leistung nur für einen kurzen Zeitraum eingespeist werden kann.

Somit werden dort zwar Lösungen für eine kurzfristige Leistungserhöhung vorgeschlagen, die Auswirkungen auf die jeweilige Windenergieanlage durch eine solche kurzfristige Leistungserhöhung werden aber in Kauf genommen oder nicht oder wenig berücksichtigt.

Durch eine Leistungsentnahme aus der Schwungmasse reduziert sich die Drehzahl der Windenergieanlage. Das hat nicht nur Auswirkungen auf die betreffende Windenergieanlage, sondern kann auch das betreffende elektrische Versorgungsnetz in einen geschwächten Zustand versetzen. Bspw. kann bei einer zu starken Entnahme von
5 Schwungenergie die Windenergieanlage ihren Betriebspunkt verlieren und muss dann ggf. zunächst in einen Betriebspunkt weiterbetrieben werden, der eine geringere Leistungseinspeisung ermöglicht als aufgrund des vorherrschenden Windes möglich wäre.

Außerdem führt das Abrufen solcher Stützenergie auch dazu, dass zunächst keine weitere Stützenergie mehr entnommen werden kann, wenn die betreffende Windenergieanlage
10 bzw. die insgesamt involvierten Windenergieanlagen ihr Potenzial an Stützenergie abgegeben haben. Dann muss in einem ggf. länger anhaltenden Prozess erst die Drehzahl der betreffenden Windenergieanlagen wieder erhöht werden, um dann wieder Schwungenergie zur Verfügung zu haben.

Das Deutsche Patent- und Markenamt hat in der Prioritätsanmeldung zur vorliegenden
15 Anmeldung folgenden Stand der Technik recherchiert: DE 10 2011 006 670 A1, DE 10 2015 208 554 A1, WO 2012 / 171 532 A2 und EP 1 665 494 B1.

Der vorliegenden Erfindung liegt somit die Aufgabe zu Grunde, zumindest eines der oben genannten Probleme zu adressieren. Insbesondere soll eine Lösung vorgeschlagen werden, bei der eine oder mehrere Windenergieanlagen für eine kurzfristige Leistungserhöhung eine entsprechende Stützleistung bereitstellen können, ohne dabei aber einen
20 stabilen Arbeitspunkt zu verlieren. Insbesondere soll vermieden werden, dass die eine oder mehreren Windenergieanlagen durch eine solche Bereitstellung von Stützleistung instabil werden oder sogar anhalten. Zumindest soll gegenüber bisher Bekanntem eine Alternative Lösung vorgeschlagen werden.

Erfindungsgemäß wird ein Verfahren gemäß Anspruch 1 vorgeschlagen. Dieses Verfahren betrifft das Einspeisen elektrischer Leistung in ein elektrisches Versorgungsnetz
25 mittel wenigstens einer Windenergieanlage an einem Netzanschlusspunkt. Die Windenergieanlage speist also an dem Netzanschlusspunkt in das elektrische Versorgungsnetz ein. Das Verfahren kann auch mehrere Windenergieanlagen betreffen, nämlich insbesondere mehrere Windenergieanlagen, die in einem Windpark organisiert sind und
30 zusammen an dem Netzanschlusspunkt in das elektrische Versorgungsnetz einspeisen.

Die wenigstens eine Windenergieanlage weist einen aerodynamischen Rotor mit Rotorblättern auf und der Rotor hat ein Trägheitsmoment und kann mit variabler Rotordrehzahl betrieben werden. Es wird also eine sog. drehzahlvariable Windenergieanlage zugrundegelegt. Die wenigstens eine Windenergieanlage weist auch einen Generator zum Erzeugen einer Generatorleistung auf.

Außerdem wird zugrundegelegt, dass mehrere Energieerzeuger Leistung in das elektrische Versorgungsnetz einspeisen. Es speist also nicht nur die wenigstens eine Windenergieanlage Leistung in das elektrische Versorgungsnetz ein, sondern wenigstens ein weiterer Energieerzeuger, insbesondere mehrere bzw. viele Energieerzeuger. Es wird auch zugrundegelegt, dass mehrere Verbraucher Leistung aus dem elektrischen Versorgungsnetz entnehmen. Dabei ergibt sich im elektrischen Versorgungsnetz eine Leistungsbilanz zwischen der eingespeisten und der entnommenen Leistung. Diese wird als positiv angesehen, wenn mehr Leistung eingespeist als entnommen wird. Idealerweise ist eine solche Leistungsbilanz 0, wenn nämlich genau so viel Leistung eingespeist wie entnommen wird.

Für das Verfahren wird nun vorgeschlagen, dass eine elektrische Grundleistung in Abhängigkeit verfügbare Windleistung durch die wenigstens eine Windenergieanlage in das elektrische Versorgungsnetz eingespeist wird. Diese elektrische Grundleistung ist somit im Grunde die Leistung, die die Windenergieanlage dem Wind unmittelbar entnimmt und in das elektrische Versorgungsnetz einspeist. Bei dieser Betrachtung bleiben Leistungsverluste bspw. durch Leitungsverluste und/oder Wärmeverluste in übertragenden oder umwandelnden Elementen der Windenergieanlage unberücksichtigt. Zum Zwecke der Erläuterung wird also davon ausgegangen, dass die dem Wind entnommene Leistung auch in das elektrische Versorgungsnetz als diese elektrische Grundleistung eingespeist wird.

Außerdem wird eine zusätzlich einzuspeisende Stützleistung vorgegeben. Diese einzuspeisende Stützleistung geht somit über die elektrische Grundleistung hinaus und sie geht damit über die Leistung hinaus, die in dem Moment dem Wind durch die betreffende Windenergieanlage entnommen werden kann.

Diese vorgegebene Stützleistung wird dann zusätzlich eingespeist, nämlich zusätzlich zur elektrischen Grundleistung, um das elektrische Versorgungsnetz zu stützen.

Es wird dazu nun vorgeschlagen, dass eine zur einzuspeisenden Stützleistung verfügbare Stützenergiemenge bestimmt wird. Die vorgegebene und zusätzlich eingespeiste Stützleistung benötigt eine zum Wind zusätzliche Energiequelle. Das kann bspw. Rotationsenergie des aerodynamischen Rotors sein. Es können auch andere oder zusätzliche
5 Energiequellen vorhanden sein und verwendet werden, wie bspw. ein Batteriespeicher. Es wird nun vorgeschlagen, solche zur einzuspeisenden Stützleistung verfügbare Stützenergiemenge zu bestimmen. Es wird mit anderen Worten die Energiemenge bestimmt, die in den für die Stützleistung zur Verfügung stehenden Energiequellen vorhanden ist. Es wird hier bewusst die verfügbare Stützenergiemenge und nicht eine in dem Moment
10 verfügbare Stützleistung bestimmt, um damit eine Berücksichtigung über den momentanen Zeitpunkt hinaus zu ermöglichen.

Schließlich wird die Stützleistung in Abhängigkeit der bestimmten verfügbaren Stützenergiemenge vorgegeben. Die Stützleistung hängt also nicht nur von dem Bedarf an Stützleistung des elektrischen Versorgungsnetzes in dem Moment ab und auch nicht nur von
15 technischen Rahmenbedingungen, diese zusätzliche Stützleistung einzuspeisen, wie bspw. Stromgrenzen, sondern es wird auch bewusst die verfügbare Stützenergiemenge berücksichtigt.

Damit kann besonders auch geplant werden, über welchen Zeitraum eine wie große Stützleistung zusätzlich zu der elektrischen Grundleistung eingespeist werden kann. Mit
20 anderen Worten wird eine vollständige Berücksichtigung der Energiereserve in den zusätzlichen Energiequellen vorgeschlagen. Damit kann besonders auch vermieden werden, dass die verfügbare Stützenergiemenge plötzlich aufgebraucht ist, die entsprechenden Energiequellen also aufgebraucht sind, und dann die Stützleistung abrupt abfallen muss. Es wird auch die Möglichkeit geschaffen, eine Abwägung zu treffen zwischen
25 einem momentanen Stützbedarf und einem kurzzeitig später noch benötigtem Stützbedarf. Es wird auch die Möglichkeit geschaffen, einen zeitlichen Verlauf für die einspeisbare Stützleistung zu planen. Dabei betrifft eine solche Planung Zeiträume im Bereich von Sekunden, insbesondere im Bereich von 5 bis 30 Sekunden.

Vorzugsweise wird zum Einspeisen der elektrischen Leistung wenigstens ein Wechselrichter verwendet. Dies wird ganz allgemein auch für jegliche Ausführungsformen vorgeschlagen. Vorzugsweise wird die zusätzlich einzuspeisende Stützleistung abhängig einer
30 Auslastung des wenigstens einen Wechselrichters bestimmt. Grundsätzlich wird die einzuspeisende Stützleistung besonders in Abhängigkeit einer Leistungsbilanz bestimmt, insbesondere abhängig der Frequenz des elektrischen Versorgungsnetzes, die ein guter

Indikator für die Leistungsbilanz sein kann. Dazu zusätzlich wird vorgeschlagen, eine Auslastung des wenigstens einen Wechselrichters zu berücksichtigen. Das bedeutet besonders, dass hier die Machbarkeit der zusätzlichen Einspeisung der Stützleistung berücksichtigt wird. Außerdem oder alternativ kann die eingespeiste Blindleistung be-
5 rücksichtigt werden und entsprechend abhängig davon die zusätzlich einzuspeisende Stützleistung bestimmt werden. Auch die eingespeiste Blindleistung trägt zur Auslastung des wenigstens einen Wechselrichters bei und es wurde erkannt, dass es daher vorteilhaft sein kann, die eingespeiste Blindleistung beim Bestimmen der zusätzlichen Stützleistung zu berücksichtigen.

10 Vorzugsweise wird vorgeschlagen, die eingespeiste Blindleistung zu reduzieren, um eine höhere Stützleistung einspeisen zu können. Eine solche Blindleistungsreduzierung kann dann bereits bei der Bestimmung der zusätzlich einzuspeisenden Stützleistung berücksichtigt werden. Mit anderen Worten kann dann die zusätzlich einzuspeisende Stützleistung ggf. mit einem größeren Wert bestimmt werden, als dies aufgrund der aktuell einge-
15 speisten Blindleistung gemacht würde, wenn die eingespeiste Blindleistung auf einen neuen Wert reduziert wird. In diesem Fall wird zur Bestimmung der einzuspeisenden Stützleistung dieser neue Wert der eingespeisten Blindleistung berücksichtigt.

Vorzugsweise wird die verfügbare Stützenergiemenge ermittelt aus dem Trägheitsmoment des Rotors, wenigstens einer Betriebskenngröße des aktuellen Betriebspunktes der
20 Windenergieanlage und einer zulässigen unteren Rotordrehzahl. Hierfür wird besonders der Fall angenommen, dass die in dem Rotor der Windenergieanlage gespeicherte Rotationsenergie die Energiequelle für die verfügbare Stützenergiemenge ist. Soweit zusätzliche Energiequellen vorhanden sind, können diese zusätzlich berücksichtigt werden.

25 Bei dieser hier vorgeschlagenen Ermittlung der verfügbaren Stützenergiemenge aus der Rotationsenergie des Rotors wird somit zunächst das Trägheitsmoment des Rotors berücksichtigt. Es kann hier noch das Trägheitsmoment des Rotors des Generators hinzukommen, das regelmäßig aber einen signifikant kleineren Stellenwert hat, als das Trägheitsmoment des aerodynamischen Rotors.

30 Weiterhin wird wenigstens eine Betriebskenngröße des aktuellen Betriebspunktes der Windenergieanlage berücksichtigt, was insbesondere die aktuelle Rotordrehzahl ist. Es können hier aber auch andere Größen berücksichtigt werden bzw. hinzukommen, wie ein aktueller Blattanstellwinkel der Rotorblätter des Rotors und die in dem Moment abgege-

bene elektrische Generatorleistung. Aus dem Trägheitsmoment des Rotors und der Rotordrehzahl kann in der aktuellen Drehbewegung des Rotors gespeicherte kinetische Energie berechnet werden.

5 Diese kinetische Energie des sich drehenden Rotors, also die Rotationsenergie, ist allerdings nicht unbedingt die zur einzuspeisenden Stützleistung verfügbare Stützenergiemenge, denn diese Rotationsenergie kann häufig nicht vollständig abgerufen werden bzw. es ist häufig nicht sinnvoll diese vollständig abzurufen. Sie vollständig abzurufen würde bedeuten, den Rotor auf 0 zu reduzieren. Das wäre allerdings aus vielerlei Hinsicht unvorteilhaft, weil danach nämlich die Windenergieanlage zunächst gar keine Leistung
10 einspeisen kann, was die Gesamtsituation verschlechtert. Außerdem wird bei einer Reduzierung der Rotordrehzahl auf sehr geringe Werte oder sogar auf 0 auch die aus dem Wind entnehmbare Leistung zurückgehen, so dass die insgesamt eingespeiste Leistung zurückgehen kann und damit faktisch weniger zusätzliche Stützleistung eingespeist wird.

15 Deshalb wird vorgeschlagen, zusätzlich eine zulässige untere Rotordrehzahl zu berücksichtigen. Eine solche zulässige untere Rotordrehzahl ist eine, auf die der Rotor für diese Stützung abgebremst werden darf. Diese zulässige untere Rotordrehzahl berücksichtigt somit insbesondere, dass bei ihr ein Weiterbetrieb der Windenergieanlage noch möglich ist. Zusätzlich kann sie eine Verringerung der Leistungsentnahme aus dem Wind berücksichtigen und somit auf einen Wert gesetzt werden, bei dem die aus dem Wind entnehmbare Leistung nur um einen vorbestimmten Wert verringert wird, der vorzugsweise möglichst klein gewählt ist.
20

Gemäß einer Ausführungsform wird vorgeschlagen, dass die wenigstens eine Betriebsgröße des aktuellen Betriebspunktes wenigstens eine der folgenden Größen umfasst,
25 nämlich die aktuelle Rotordrehzahl, die aktuelle Generatorleistung und die vorherrschende Windgeschwindigkeit.

Die aktuelle Rotordrehzahl wird besonders dafür verwendet, die vorhandene kinetische Energie, nämlich die Rotationsenergie, des sich drehenden Rotors zu bestimmen.

30 Die aktuelle Generatorleistung ist, besonders zusammen mit der Rotordrehzahl, eine wichtige Betriebskenngröße des aktuellen Betriebspunktes der Windenergieanlage. Daraus kann erkannt werden, ob die Windenergieanlage gerade viel oder wenig Leistung umsetzt und daraus lässt sich auch ableiten, wie viel Reserve die Windenergieanlage hat,

ihren Betriebspunkt zu verschieben. Das Abrufen von Rotationsenergie führt dazu, dass sich der Betriebspunkt der Windenergieanlage verschiebt und je nachdem wo sich dieser Betriebspunkt befindet, ist eine entsprechend große oder kleine Verschiebung des Betriebspunktes möglich. Besonders wenn die Windenergieanlage viel Leistung umsetzt, ist
5 auch üblicherweise die vorherrschende Windgeschwindigkeit hoch. Wird dann der Betriebspunkt aus seiner optimalen Lage in eine weniger optimale Lage verschoben, kann er aber bei besonders starkem Wind, also hoher vorherrschender Windgeschwindigkeit, leichter wieder in vorherigen Betriebspunkt zurückgebracht werden.

Andererseits kann eine in Bezug auf die aktuelle Drehzahl vergleichsweise hohe Leistung
10 darauf hindeuten, dass die Anlage nicht in einem optimalen Betriebspunkt arbeitet. Das kann auch bedeuten, dass der Betriebspunkt auf einer Drehzahl-/Leistungskennlinie an einer Flanke liegt und daher eine Änderung der Drehzahl zu einer vergleichsweise starken Leistungsreduzierung führen kann. In diesem Fall würde die Entnahme von Rotationsenergie zu einem vergleichsweise starken Leistungseinbruch führen. Das kann auch
15 bedeuten, dass die Drehzahl nur gering abgesenkt werden kann. Durch die Berücksichtigung der Generatorleistung kann das bei der Bestimmung der verfügbaren Stützenergie berücksichtigt werden.

Außerdem oder stattdessen kann die vorherrschende Windgeschwindigkeit berücksichtigt werden. Dazu kann sie gemessen werden, wobei eine Messung mit einem entsprechenden Messgerät an der Windenergieanlage oder aber auch die Messung mit einem in der
20 Nähe stehenden Messmast in Betracht kommt. Da die Messung einer Windgeschwindigkeit häufig ungenau ist, kommt auch in Betracht, die Windgeschwindigkeit aus der Rotordrehzahl und der Generatorleistung abzuleiten.

Jedenfalls kann dann daraus besser erkannt werden, wie weit der Betriebspunkt verändert werden kann und insbesondere wie stark die Rotordrehzahl verringert werden kann und somit wie viel Rotationsenergie tatsächlich entnommen werden kann. Eben diese entnehmbare Rotationsenergie führt dann zur verfügbaren Stützenergiemenge. Sofern keine weiteren Energiequellen vorhanden sind und Verluste unberücksichtigt bleiben, ist diese entnehmbare Rotationsenergie die verfügbare Stützenergiemenge.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird vorgeschlagen, dass zur Ermittlung der verfügbaren Stützenergiemenge eine Leistungseinbuße durch eine Reduzierung der Rotordrehzahl berücksichtigt wird. Wird zur Leistungsentnahme die Rotordrehzahl verringert, so kann sich auch die Leistungsentnahme aus dem Wind durch den so verlangsamt

ten Rotor verschlechtern. Das schmälert die faktisch verfügbare Stützenergiemenge und kann somit bei der Ermittlung der verfügbaren Stützenergiemenge berücksichtigt werden.

Alternativ oder zusätzlich wird vorgeschlagen, dass das Vorgeben der zusätzlich einzuspeisenden Stützleistung in Abhängigkeit der Leistungseinbuße durch eine Reduzierung der Rotordrehzahl vorgenommen wird. Dadurch kann die Leistungseinbuße durch entsprechende Anpassung der Stützleistung ausgeglichen werden.

Gemäß einer Ausgestaltung ist vorgesehen, dass die wenigstens eine Windenergieanlage zur Bereitstellung der Stützleistung mit wenigstens einem elektrischen Speicher gekoppelt ist und zur Ermittlung der verfügbaren Stützenergiemenge eine Rotationsenergie des Rotors und jeweils einen Speicherinhalt des wenigstens einen elektrischen Speichers berücksichtigt. Die Stützleistung kann in diesem Fall auf mehrere Energiequellen zurückgreifen, nämlich auf einen Teil der Rotationsenergie des sich drehenden Rotors und auf wenigstens einen elektrischen Speicher. Besonders kann ein solcher elektrischer Speicher vorgesehen sein, um eine mögliche Stützenergiemenge zu erhöhen, nämlich über die Menge zu erhöhen, die aus dem sich drehenden Rotor verwendet werden kann.

Der elektrische Speicher kann eine Batterie und außerdem oder zusätzlich ein Hochleistungskondensator sein, der in Fachkreisen auch als Super-Cap oder Ultra-Cap bezeichnet wird. Besonders die Verwendung solcher Hochleistungskondensatoren wird vorgeschlagen, weil sie wartungsarm sind und Energie bzw. Leistung sehr schnell bereitstellen können. Dennoch ist hier auch wichtig, welchen Speicherinhalt sie haben, wie stark sie also geladen sind. Und auch für solche elektrischen Speicher, das gilt für die Batterie als auch für den Hochleistungskondensator, kann in Betracht kommen, dass auch sie nicht vollständig entladen werden können. Das ergibt sich bei einem Kondensator besonders aufgrund der sinkenden Spannung und bei der Batterie aufgrund eines steigenden Innenwiderstandes bei einer Entladung. Somit wird auch hier vorgeschlagen, zu berücksichtigen, wie viel der vorhandenen Energie tatsächlich entnommen werden kann. Das kann auch von der elektronischen Schalteinheit abhängen, die jeweils die Energie aus dem elektrischen Speicher entnimmt. So kann es bspw. sein, dass ein auf eine Spannung von 800 Volt aufgeladener Kondensator bspw. nur bis 300 Volt entladen werden kann, weil eine solche geringe Spannung von 300 Volt oder weniger eine elektronische Einheit benötigen würde, die diese Spannung zur Verwendung in der Windenergieanlage entsprechend hoch setzt. Dies sei nur ein Beispiel und auch die genannten Spannungswerte sind nur beispielhaft genannt. Ähnliche Probleme können bei einer Batterie auftreten. Bei

einer Batterie kommt hinzu, dass sie durch eine zu starke Entladung zerstört werden kann.

All diese Effekte werden vorzugsweise bei der Ermittlung der verfügbaren Stützenergiemenge berücksichtigt.

5 Gemäß einer Ausführungsform wird vorgeschlagen, dass beim Einspeisen einer Stützleistung die verfügbare Stützenergiemenge aktualisiert wird, insbesondere kontinuierlich aktualisiert wird. Diese Aktualisierung soll also beim Einspeisen der Stützleistung erfolgen und muss entsprechend schnell bzw. mit der Einspeisung gleichzeitig aktualisiert werden. Dabei wird vorgeschlagen, dass diese Aktualisierung in Abhängigkeit der eingespeisten
10 Stützleistung erfolgt. Es wird somit die eingespeiste Stützleistung überwacht und diese Information wird verwendet, um die verfügbare Stützenergiemenge ständig zu aktualisieren. Hierzu kommt besonders in Betracht, dass die eingespeiste Stützleistung kontinuierlich über die Zeit zu einer eingespeisten Stützenergie integriert wird. Hierbei ist besonders zu beachten, dass eine Stützleistung, sofern die verfügbare Stützenergiemenge das
15 zulässt, in Abhängigkeit einer Frequenz im elektrischen Versorgungsnetz eingespeist wird. Schwankungen der Frequenz können somit auch zu Schwankungen der Stützleistung führen. Es wird auch vorgeschlagen zu berücksichtigen, dass ein Unterschied zwischen der vorgesehenen Stützleistung, also eines Stützleistungssollwerts, und der tatsächlich eingespeisten Stützleistung, also eines Stützleistungs-Ist-Werts, bestehen kann.
20 Dennoch kommt neben einer Messung der eingespeisten Stützleistung in Betracht, die eingespeiste Stützleistung über ihren Sollwert zu berücksichtigen und ggf. bekannte besonders dynamische Abweichungen zwischen Soll- und Ist-Leistung zu berücksichtigen.

Außerdem oder alternativ wird vorgeschlagen, dass die verfügbare Stützenergiemenge
25 aktualisiert wird unter Berücksichtigung eines Änderungsverhaltens der Windenergieanlage als Reaktion auf die Einspeisung der Stützleistung. Hier kommt besonders in Betracht, eine Abnahme der Rotordrehzahl als Reaktion auf eine Abgabe von Rotationsenergie des Rotors zu berücksichtigen.

Besonders die Rotordrehzahl kann regelmäßig sehr genau und schnell erfasst werden.
30 Da sich das Trägheitsmoment des Rotors nicht nennenswert verändert, ist somit auch aktuell die im Rotor vorhandene Rotationsenergie erfassbar. Besonders unter der Annahme, dass sich eine zulässige untere Rotordrehzahl für den aktuellen Stützfall nicht

ändert, kann durch Beobachtung der Abnahme der Rotordrehzahl die Änderung der verfügbaren Stützenergiemenge schnell und genau erfasst werden.

Die Abnahme der vorhandenen Energie eines oder mehrerer vorhandener elektrischer Speicher kann regelmäßig durch die Überwachung der Ausgangsspannung dieser elektrischen Speicher erkannt werden. Besonders für Batteriespeicher kommen aber auch
5 andere Verfahren in Betracht, die dem Fachmann grundsätzlich geläufig sind.

Durch das Aktualisieren der verfügbaren Stützenergiemenge kann besonders auf einfache Art und Weise auch die aktuell vorgegebene zusätzlich einzuspeisende Stützleistung bestimmt werden.

10 Gemäß einer Ausführungsform wird vorgeschlagen, dass die wenigstens eine Windenergieanlage mit wenigstens einem in seinem Verbrauch steuerbar reduzierbaren Verbraucher gekoppelt ist und die Bestimmung der verfügbaren Stützenergiemenge eine durch eine Reduzierung des wenigstens einen steuerbar reduzierbaren Verbrauchers verfügbare
15 Energiemenge berücksichtigt. Hier liegt besonders der Gedanke zugrunde, dass ein Verbraucher, der mit der Windenergieanlage gekoppelt ist, Leistung der Windenergieanlage verbraucht. Die Windenergieanlage speist somit diese Leistung weniger in das elektrische Versorgungsnetz ein. Lässt sich dieser Verbraucher zumindest kurzzeitig und auch kurzfristig Reduzieren oder Abschalten, kann diese von ihm verbrauchte Leistung,
20 die normalerweise bei der Einspeisung fehlt, nun zur Stützung verwendet werden. Das wird vorzugsweise bei der Bestimmung der verfügbaren Stützenergiemenge mit berücksichtigt.

Es wird darauf hingewiesen, dass eine solche Leistung, die der Verbraucher während des Stützfalls nicht verbraucht, unmittelbar der Stützleistung zugeschlagen werden könnte. Dies wird gemäß einer Ausführungsform auch vorgeschlagen, aber unter Berücksichtigung
25 der Tatsache, dass ein Teil, insbesondere ein großer Teil, der Stützleistung aus der Rotationsenergie des Rotors genommen wird, ist die Gesamtsituation zu betrachten und dafür wird vorgeschlagen, auch diese durch den in seinem Verbrauch reduzierten Verbraucher verfügbar gemachte Leistung in verfügbare Energie umzurechnen und der verfügbaren Stützenergiemenge zuzufügen bzw. die verfügbare Stützenergiemenge unter
30 Berücksichtigung dieser durch den Verbraucher verfügbar gemachten Energie zu bestimmen. Dazu kann bspw. die durch den Verbraucher verfügbar gemachte Leistung über die Dauer des zu erwartenden Stützfalls zu einer Energie integriert werden. Ändert sich diese Dauer, kann die Berechnung der verfügbaren Stützenergiemenge aktualisiert

werden. Alternativ wird diese durch den Verbraucher verfügbar gemachte Leistung der Stützleistung unmittelbar aufgeschlagen.

Es wird darauf hingewiesen, dass in diesem Fall eines fest mit der Windenergieanlage gekoppelten und in seinem Verbrauch steuerbar reduzierbaren Verbrauchers die elektrische Grundleistung um diese Verbrauchsleistung unterhalb der aus dem Wind erzeugten Leistung liegt.

Gemäß einer Ausführungsform wird vorgeschlagen, dass zum Vorgeben der Stützleistung ein Verlauf der Stützleistung in Abhängigkeit der Stützenergiemenge vorgegeben wird. Insbesondere wird vorgesehen, dass das Vorgeben der Stützleistung abhängig der Stützenergiemenge über einen zeitabhängigen Verlauf erfolgt. Ein solcher Verlauf der Stützleistung in Abhängigkeit der Stützenergiemenge kann besonders so aussehen, dass bei anfangs ausreichend vorhandener Stützenergiemenge die Stützleistung einen aufgrund von Randbedingungen wie die Auslastung des Wechselrichters eine konstante Stützleistung vorgegeben wird. Reduziert sich nun die verfügbare Stützenergiemenge unter einer vorgebbare Mindeststützenergiemenge, reduziert sich die Stützleistung dann mit weiter abfallender verfügbarer Stützenergiemenge. Vorzugsweise kann hier ein proportionaler Zusammenhang zwischen verfügbarer Stützenergiemenge und eingespeister bzw. entsprechend vorgegebener Stützleistung vorgesehen sein. In diesem Fall ergäbe sich eine immer langsamer fallende Stützleistung, die sich idealisiert asymptotisch dem Wert 0 nähern würde. Gemäß einer anderen Variante wird vorgeschlagen, dass für die genannte verbliebene Mindeststützenergiemenge ein verbleibendes Zeitintervall berechnet wird, in dem die Leistung mit der Zeit proportional auf 0 fällt und dabei genau diese verbleibende Mindeststützenergiemenge einspeist, um ein weiteres Beispiel zu nennen.

Wird der zeitabhängige Verlauf verwendet, so kann auch vorgesehen sein, dass bereits für die gesamte verfügbare Stützenergiemenge ein Verlauf der Stützleistung über die Zeit vorbestimmt wird, der genau zum Verbrauch der verfügbaren Stützenergiemenge führt. Natürlich wird das Einspeisen der Stützleistung immer dann unterbrochen, wenn eine Stützung des elektrischen Versorgungsnetzes nicht mehr notwendig ist.

Gemäß einer Ausführungsform wird vorgeschlagen, dass die wenigstens eine Windenergieanlage in einem Betriebspunkt betrieben wird, der sich bei Abgabe von Rotationsenergie zunächst verbessert, insbesondere dass die Windenergieanlage mit einer so hohen Rotordrehzahl betrieben wird, dass sich die Rotordrehzahl durch Abgabe von Schwung-

energie, also Rotationsenergie, temporär auf eine leistungsoptimale Rotordrehzahl verringert. Das wird besonders für einen unteren Teillastbetrieb vorgeschlagen, in dem die Windgeschwindigkeit noch deutlich unter der Nennwindgeschwindigkeit liegt, z.B. maximal 50% der Nennwindgeschwindigkeit beträgt.

- 5 Hier liegt die Erkenntnis zugrunde, dass es zwar theoretisch nur einen optimalen, nämlich leistungsoptimalen Betriebspunkt für die Windenergieanlage gibt, dass sich in der Nähe dieses optimalen Betriebspunktes ein Betriebsbereich befindet, der nur minimal ungünstiger als der theoretisch leistungsoptimale Betriebspunkt ist. Besonders gibt es häufig eine leistungsoptimale Rotordrehzahl, die besonders auch hinsichtlich der Entnahme der
- 10 Leistung aus dem Wind optimal ist. Sowohl eine höhere Rotordrehzahl als auch geringere Rotordrehzahl sind ungünstiger, aber geringfügig ungünstiger. So wurde besonders erkannt, dass eine Rotordrehzahl, die höher als die leistungsoptimale Rotordrehzahl ist, zu einer nur minimalen Verschlechterung des Arbeitspunktes führt, gleichzeitig aber eine
- 15 signifikant höhere Rotationsenergie schafft, insbesondere eine signifikant höhere verfügbare Rotationsenergie. Oftmals kann es sogar sein, dass die Verschlechterung des Arbeitspunktes hierdurch messtechnisch kaum nachweisbar ist. Besonders in diesem Fall wird vorgeschlagen, die Windenergieanlage in einem entsprechend verschobenen Betriebspunkt, nämlich mit einer entsprechend höheren Drehzahl zu betreiben.

Vorzugsweise wird die verfügbare Stützenergiemenge, also hier die verfügbare also

20 sinnvollerweise noch entnehmbare Rotationsenergiemenge, als Maß dafür genommen, wie stark die Rotordrehzahl über die als leistungsoptimal berechnete Rotordrehzahl ansteigt. Hier kann eine Abwägung getroffen werden zwischen der sich erhöhenden verfügbaren Stützenergiemenge einerseits und der sich durch die Erhöhung der Rotordrehzahl verschlechternden Effizienz des Betriebspunktes andererseits. Besonders

25 abhängig davon, ob ein Stützfall in dem elektrischen Versorgungsnetz zu erwarten ist, oder ob bzw. wie viele andere Erzeuger im elektrischen Versorgungsnetz eine ausreichende Stützung durchführen können, kann mit dieser Abwägung eine entsprechende Rotordrehzahl eingestellt bzw. verändert werden.

Gemäß einer Ausführungsform wird vorgeschlagen, dass die Stützleistung in Abhängig-

30 keit eines Netzzustandes des elektrischen Versorgungsnetzes vorgegeben wird, insbesondere in Abhängigkeit der Leistungsbilanz des elektrischen Versorgungsnetzes, wobei zusätzlich eine Leistungsobergrenze in Abhängigkeit der verfügbaren Stützenergiemenge bestimmt und eingehalten wird und die vorgegebene Stützleistung mit einem zeitlich

abfallenden Verlauf, insbesondere einer zeitlich abfallenden Flanke reduziert wird, sobald die verfügbare Stützenergiemenge einen vorgegebenen Grenzwert erreicht hat.

Die Stützleistung wird also zunächst in Abhängigkeit eines Netzzustandes des elektrischen Versorgungsnetzes vorgegeben. Das kann insbesondere die Netzfrequenz sein, also die Frequenz der elektrischen Spannung des elektrischen Versorgungsnetzes, die ein Indikator der Leistungsbilanz sein kann. Ggf. kommt in Betracht, die Leistungsbilanz des elektrischen Versorgungsnetzes anderweitig zu berücksichtigen. Das kann bspw. durch eine extern übermittelte Information erfolgen, die bspw. der Netzbetreiber übersenden könnte.

Insoweit bestimmt das elektrische Versorgungsnetz die Stützleistung, denn die Stützleistung soll das elektrische Versorgungsnetz stützen. Die Windenergieanlage kann aber nur begrenzt Stützleistung zur Verfügung stellen und es wird somit vorgeschlagen, mit der Stützleistung zu haushalten. Dazu wird vorgeschlagen, eine Leistungsobergrenze in Abhängigkeit der verfügbaren Stützenergiemenge zu bestimmen und dann natürlich auch einzuhalten. Dazu kann ein erfahrungsgemäß zu erwartender Stützzeitraum zugrundegelegt werden. Hierzu kommt in Betracht, von einem Zeitraum von 10 Sekunden auszugehen. Vorzugsweise liegt dieser Zeitraum im Bereich von 5 bis 30 Sekunden. Abhängig der bestimmten verfügbaren Stützenergiemenge ergibt sich daraus ein Leistungswert für die Stützleistung. Im einfachsten Fall bedeutet das, dass dieser Leistungswert der Stützleistung, also diese Leistungsobergrenze so gewählt wird, dass die verfügbare Stützenergiemenge bei konstanter Einspeisung einer Stützleistung mit dieser Leistungsobergrenze zum Ende des angenommenen Stützzeitraums verbraucht ist oder bis auf eine verbliebene Mindeststützenergiemenge verbraucht ist. Um dann ein abruptes Beenden dieser Stützleistung zu vermeiden, wird vorgeschlagen, die vorgegebene Stützleistung zum Ende hin mit einem zeitlich abfallenden Verlauf zu reduzieren.

Erfindungsgemäß wird auch eine Windenergieanlage vorgeschlagen und diese ist vorbereitet zum Einspeisen elektrischer Leistung in ein elektrisches Versorgungsnetz an einem Netzanschlusspunkt. Sie umfasst einen aerodynamischen Rotor mit Rotorblättern und der Rotor weist ein Trägheitsmoment auf und kann mit variabler Rotordrehzahl betrieben werden. Außerdem weist sie einen Generator zum Erzeugen einer Generatorleistung auf und eine Steuereinheit zum Steuern eines Einspeisens einer elektrischen Grundleistung in Abhängigkeit verfügbarer Windleistung. Eine solche Steuereinheit kann bspw. ein Prozessrechner sein, der ein Teil oder alle Steuerungen der Windenergieanlage über-

nimmt. Diese Steuereinheit kann bspw. einen Wechselrichter steuern und ggf. weitere Elemente der Windenergieanlage.

Außerdem umfasst die Windenergieanlage ein Vorgabemittel zum Vorgeben einer zusätzlich einzuspeisenden Stützleistung. Ein solches Vorgabemittel kann Teil einer Steuereinrichtung wie eines Steuerprozessors der Windenergieanlage sein. Ein solches
5 Vorgabemittel kann aber auch als separates Steuerprogramm vorgesehen sein. Es gibt die zusätzlich einzuspeisende Stützleistung bspw. in Abhängigkeit einer erfassten Frequenz im elektrischen Versorgungsnetz vor oder anhand eines externen Anforderungssignals. Die vorgegebene Stützleistung kann
10 als absoluter Wert oder auch als relativer Wert vorgegeben werden. Bspw. kommt die Vorgabe als relativer Wert in Bezug auf die Nennleistung der Windenergieanlage in Betracht oder als relativer Wert in Bezug auf die in dem Moment aktuell eingespeiste Leistung.

Außerdem weist die Windenergieanlage eine Einspeisevorrichtung zum Einspeisen der
15 vorgegeben Stützleistung zur Stützung des elektrischen Versorgungsnetzes auf. Eine solche Einspeisevorrichtung kann bspw. ein Wechselrichter sein, der bspw. Leistung von dem Generator als Gleichspannung bzw. Gleichstrom erhält und daraus einen einzuspeisenden Wechselstrom erzeugt. Die Einspeisevorrichtung ist dabei vorzugsweise gleichzeitig zum Einspeisen der einzuspeisenden Leistung insgesamt vorgesehen. Anders
20 ausgedrückt kann eine übliche Einspeisevorrichtung wie ein Wechselrichter verwendet werden und dabei auch die Aufgabe übernehmen, die vorgegebene Stützleistung zur Stützung des elektrischen Versorgungsnetzes zusätzlich einzuspeisen.

Es ist auch vorgesehen, dass die Windenergieanlage eine Berechnungseinheit zum Bestimmen einer zur einzuspeisenden Stützleistung verfügbaren Stützenergiemenge
25 aufweist. Diese Berechnungseinheit bestimmt somit eine verfügbare Stützenergiemenge, die dann als Quelle für die einzuspeisende Stützleistung verwendet werden kann. Die Stützleistung wird in Abhängigkeit der bestimmten verfügbaren Stützenergiemenge vorgegeben. Das Vorgabemittel, das die zusätzlich einzuspeisende Stützleistung vorgibt, berücksichtigt somit die von der Berechnungseinheit bestimmte verfügbare Stützenergiemenge und bestimmt abhängig davon die Stützleistung. Das Vorgabemittel zum
30 Vorgeben der zusätzlich einzuspeisenden Stützleistung und die Berechnungseinheit zum Bestimmen der Stützenergiemenge können auch in einer Einheit integriert sein, wie bspw. in einem gemeinsamen Mikroprozessor.

Vorzugsweise ist die Windenergieanlage dazu vorbereitet, ein Verfahren gemäß wenigstens einer der beschriebenen Ausführungsformen auszuführen.

Es wird auch ein Windpark mit mehreren Windenergieanlagen vorgeschlagen, wobei die Windenergieanlagen dieses Windparks gemäß wenigstens einer beschriebenen Ausführungsform einer Windenergieanlage ausgebildet sind. Außerdem oder alternativ ist der
5 Windpark dazu vorbereitet, ein Verfahren gemäß einer beschriebenen Ausführungsform umzusetzen. Diese Umsetzung kann somit so vorgenommen werden, dass jede Windenergieanlage des Windparks für sich ein entsprechendes Verfahren ausführt.

Außerdem oder alternativ kann auch vorgesehen sein, dass der Windpark als Einheit
10 wenigstens ein Verfahren gemäß einer beschriebenen Ausführungsform ausführt. Insbesondere kann für die Vorgabe der Stützleistung und/oder für die Bestimmung der verfügbaren Stützenergiemenge ein zentraler Parkrechner oder andere zentrale Einheit vorgesehen sein, die diese Aufgabe für den Park insgesamt übernimmt. Das Ergebnis kann
15 bspw. an die einzelnen Windenergieanlagen zu konkreten Umsetzung verteilt werden. Dabei kann die vorgegebene Stützleistung auf die einzelnen Windenergieanlagen verteilt werden und/oder die verfügbare Stützenergiemenge. Besonders bei Verwendung eines zentralen Energiespeichers in dem Wind kann die darin enthaltene Stützenergiemenge auf die Windenergieanlagen aufgeteilt und zu den verfügbaren Stützenergiemengen der Rotationsenergie der Rotoren der Windenergieanlagen hinzugefügt und hinzugerechnet
20 werden.

Gemäß einer anderen Ausführungsform kann in dem Fall, dass ein solcher zentraler Energiespeicher im Park vorgesehen ist, eine Einspeisevorrichtung vorgesehen sein, die von diesem zentralen Energiespeicher unmittelbar in das elektrische Versorgungsnetz einspeist. In diesem Fall wird zudem vorgeschlagen, dass solche durch den Windpark
25 unmittelbar, ohne Verwendung einer Windenergieanlage, eingespeiste Stützleistung durch einen Parkregler, oder anderweitig, koordiniert wird. Dabei wird auch eine Koordination dieser eingespeisten Stützleistung mit der von den Windenergieanlagen eingespeisten bzw. zur Einspeisung bereitgestellten Leistung vorgenommen. Die Berechnung der verfügbaren Stützenergiemenge berücksichtigt beide Energiequellenarten, also die
30 Rotationsenergien und die Batteriespeicherenergie.

Die Erfindung wird nun nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die begleitenden Figuren näher erläutert.

- Figur 1 zeigt eine Windenergieanlagen in einer perspektivischen Darstellung.
- Figur 2 zeigt einen Windpark in einer schematischen Darstellung.
- Figur 3 zeigt eine Steuerungsstruktur einer Windenergieanlage schematisch.
- Figur 4 zeigt ein Leistungs- und Energiezeitdiagramm.
- 5 Figur 5 zeigt in einem Diagramm schematisch den Verlauf einer Rotationsenergie in Abhängigkeit einer Drehzahl.

Figur 1 zeigt eine Windenergieanlage 100 mit einem Turm 102 und einer Gondel 104. An der Gondel 104 ist ein Rotor 106 mit drei Rotorblättern 108 und einem Spinner 110 angeordnet. Der Rotor 106 wird im Betrieb durch den Wind in eine Drehbewegung versetzt und treibt dadurch einen Generator in der Gondel 104 an.

10

Figur 2 zeigt einen Windpark 112 mit beispielhaft drei Windenergieanlagen 100, die gleich oder verschieden sein können. Die drei Windenergieanlagen 100 stehen somit repräsentativ für im Grunde eine beliebige Anzahl von Windenergieanlagen eines Windparks 112. Die Windenergieanlagen 100 stellen ihre Leistung, nämlich insbesondere den erzeugten Strom über ein elektrisches Parknetz 114 bereit. Dabei werden die jeweils erzeugten Ströme bzw. Leistungen der einzelnen Windenergieanlagen 100 aufaddiert und meist ist ein Transformator 116 vorgesehen, der die Spannung im Park hochtransformiert, um dann an dem Einspeisepunkt 118, der auch allgemein als PCC bezeichnet wird, in das Versorgungsnetz 120 einzuspeisen. Fig. 2 ist nur eine vereinfachte Darstellung eines Windparks 112, die beispielsweise keine Steuerung zeigt, obwohl natürlich eine Steuerung vorhanden ist. Auch kann beispielsweise das Parknetz 114 anders gestaltet sein, in dem beispielsweise auch ein Transformator am Ausgang jeder Windenergieanlage 100 vorhanden ist, um nur ein anderes Ausführungsbeispiel zu nennen.

15

20

Figur 3 zeigt in einer schematischen und veranschaulichenden Struktur eine Windenergieanlagengondel 2 mit einer Steuerungsstruktur 4 einschließlich eines Wechselrichters 6 der eine Einspeisevorrichtung bildet. Außerdem ist ein Batteriespeicher 8 als weitere Energiequelle vorhanden. Mit der Einspeisevorrichtung 6, nämlich dem Wechselrichter, wird über einen Transformator 10 in ein schematisch angedeutetes elektrisches Netzwerk 12 eingespeist. In dieses elektrische Netzwerk 12 speisen auch weitere Energieerzeuger

25

ein und es sind elektrische Verbraucher daran angeschlossen, wobei beides hier nicht dargestellt ist.

Die Funktionsweise der Windenergieanlage, von der die Gondel 2 und ein Turmansatz 14 angedeutet sind, wird nachfolgend zunächst allgemein beschrieben. An der Gondel 2 sind ebenfalls schematisch dargestellte Rotorblätter 16 angeordnet, nämlich im Bereich einer Nabe 18 eines Spinners 20. Diese Rotorblätter 16, von denen vorzugsweise drei vorhanden sind, in der Figur 3 aber nur zwei dargestellt sind, werden durch den Wind angetrieben und versetzen den Rotor 22, der im Wesentlichen aus den Rotorblättern 16, der Nabe 18 und dem Spinner 20 besteht, in eine Drehbewegung. Daraus wird mithilfe des Generators 24 elektrische Leistung erzeugt, nämlich eine Generatorleistung. Der Generator 24 weist dazu einen Läufer 26 und einen Stator 28 auf. Der Begriff Läufer wird hier unabhängig vom Typ des Generators 24 verwendet, um eine Verwechslung mit dem aerodynamischen Rotor 22 zu vermeiden. Der Läufer 26 ist dabei mit der Nabe 18 und damit mit dem Rotor 22 fest verbunden. Grundsätzlich kann aber auch ein Getriebe zwischengeschaltet sein.

Der bevorzugte Generator 24 ist ein Synchrongenerator. Insbesondere wird ein fremderregter Synchrongenerator vorgeschlagen. Für das Bereitstellen einer Erregerleistung für den fremderregten Synchrongenerator ist der Stromsteller 30 vorgesehen, der einen Erregerstrom dem Läufer 26 zuführt. Ein dafür zu verwendender Schleifring ist hier nicht dargestellt.

Die von dem Generator 24 erzeugte Generatorleistung wird von dem Stator 28 an den Gleichrichter 32 gegeben, der ihn gleichrichtet und einen entsprechend gleichgerichteten Gleichstrom mit einer entsprechenden Gleichspannung an einer Sammelschiene 34 bereitstellt. Im laufenden Betrieb kann der Stromsteller 30 seine Energie auch von der Sammelschiene 34 beziehen. Für die nachfolgenden Betrachtungen der Einspeisung und Netzstützung wird der Leistungsanteil, den der Stromsteller 30 benötigt, vernachlässigt.

Die Sammelschiene 34, die nicht unbedingt als Schiene ausgeführt sein muss, sondern auch durch Leitungen oder Leitungsbündel realisiert sein kann, ist mit einem Eingang des Wechselrichters 6 gekoppelt.

Der Wechselrichter 6 wandelt somit den Gleichstrom bzw. die Gleichspannung der Sammelschiene 34 in einen Wechselstrom bzw. eine Wechselspannung um, die über den Transformator 10 transformiert und in das elektrische Netzwerk 12 eingespeist wird.

Kommt es nun zu einem mehr oder weniger plötzlichen Leistungsbedarf, weil bspw. die Leistungsbilanz im elektrischen Versorgungsnetz 12 negativ geworden ist, so kann vorgesehen sein, durch den Wechselrichter 6 zusätzliche Stützleistung einzuspeisen. In der in Figur 3 gezeigten Ausführungsform kommt dazu besonders in Betracht, Leistung aus dem Batteriespeicher 8 oder aus der Rotationsenergie des Rotors 22 zu verwenden. Dazu kann die Steuereinheit 36 dem Wechselrichter 6 eine entsprechende Sollleistung P_S vorgeben. Im Übrigen ist angedeutet, dass die Steuereinheit 36 dem Wechselrichter 6 auch eine Blindleistung Q_S vorgeben kann. Außerdem kann der Wechselrichter 6 die Scheinleistung S als Information an die Steuereinheit 36 geben.

Diese einzuspeisende Leistung P_S , die insoweit eine Sollleistung darstellt, setzt sich zusammen aus einer elektrischen Grundleistung und der einzuspeisenden Stützleistung. Im Normalfall, wenn kein Bedarf einer Stützleistung besteht, entspricht die Sollleistung P_S im Wesentlichen der Grundleistung. Über sie wird somit auch im Normalbetrieb die Leistungsabgabe der Windenergieanlage gesteuert. Wenn dann zusätzlich eine Stützleistung eingespeist werden soll, weil sich der Wert dieser Sollleistung P_S also zusätzlich erhöhen soll, muss die Steuereinheit 36 dafür zunächst einen Anlass haben. Häufig wird sich der Anlass aus der Erfassung der Netzfrequenz f ergeben. Besonders wenn die Netzfrequenz f abfällt, kann ein solcher Bedarf entstehen, zusätzliche Leistung zur Netzstützung einzuspeisen. Dafür ist die Spannungsmessvorrichtung 38 vorgesehen, die neben der Ausgangsspannung U des Wechselrichters 6 auch die Netzfrequenz f erfasst und der Steuereinheit 36 zuführt. Alternativ kann die Messung der Spannung und der Frequenz auch an einer anderen Stelle vorgenommen werden, wie bspw. zwischen dem Transformator 10 und dem elektrischen Versorgungsnetz 12, also dort an dem Netzanschlusspunkt 40.

Außerdem oder alternativ kann auch über ein externes Signal, das in Figur 3 als "ext" angedeutet ist, ein Bedarf einer Netzstützung erkannt oder ausgelöst werden. Das Signal „ext“ kann von einem Netzbetreiber bereitgestellt werden.

Somit kann die Steuereinheit 36 anhand wenigstens einer dieser genannten Größen den Bedarf zum Einspeisen zusätzlicher Stützleistung zur Netzstützung erkennen.

Es wird nun vorgeschlagen, dass zusätzlich zur Berechnung einer einzuspeisenden Stützleistung abhängig von diesen Größen, die einen solchen Bedarf anzeigen, zunächst eine insgesamt vorhandene Stützenergiemenge erfasst und dann berücksichtigt wird.

Zur Bestimmung der verfügbaren Stützenergie E_V ist die Berechnungseinheit 42 vorgesehen. Die Berechnungseinheit 42, die auch mit der Steuereinheit 36 in einem Gerät oder in einer Prozesssteuerung vereint werden könnte, berücksichtigt in der Ausführungsform der Figur 3 sowohl verfügbare Energie aus Rotationsenergie des Rotors 22 als auch aus Speicherenergie des Batteriespeichers 8. Die dadurch insgesamt ermittelte verfügbare Stützenergiemenge E_V wird dann zum Vorgeben der Stützleistung berücksichtigt und dafür gemäß der Struktur der Figur 3 an die Steuereinheit 36 übertragen.

Die verfügbare Stützenergiemenge E_V setzt sich dabei additiv zusammen aus den einzelnen verfügbaren Stützenergiemengen des Rotors 22 und des Batteriespeichers 8. Sie setzt sich also zusammen aus der verfügbaren Rotationsenergie des Rotors 22 und der verfügbaren Speicherenergie des Batteriespeichers 8.

Die verfügbare Speicherenergie des Batteriespeichers 8 kann bspw. abhängig der Batteriespannung U_B ermittelt werden. Der Batteriespeicher kann dafür diesen Wert der Batteriespannung U_B an die Berechnungseinheit 42 übertragen. Alternativ könnte auch der Batteriespeicher 8, besonders dann, wenn er eine komplexe Speicherbank mit vielen Einheiten ist, selbst die verfügbare Speicherenergie bestimmen und an die Berechnungseinheit 42 übertragen oder bspw. einen Ladezustand an die Berechnungseinheit 42 übertragen, aus dem die Berechnungseinheit 42 dann die verfügbare Speicherenergiemenge bestimmt.

Zur Bestimmung bzw. Berechnung der verfügbaren Rotationsenergie des Rotors 22 erhält die Berechnungseinheit 42 u.a. die Drehzahl n , die mit dem Drehzahlsensor 44 erfasst werden kann. Das Massenträgheitsmoment des Rotors 22 liegt der Berechnungseinheit 42 vor und somit kann die Rotationsenergie in Abhängigkeit der Drehzahl n berechnet werden.

Die dem Rotor 22 aufgrund seiner aktuellen Drehzahl n gespeicherte Rotationsenergie ist aber faktisch nicht vollständig verfügbar, weil der Rotor, besonders in einem Moment, in dem das Netz gestützt werden soll, nicht auf 0 oder eine andere zu niedrige Drehzahl reduziert werden sollte oder nicht reduziert werden darf.

Entsprechend berücksichtigt die Berechnungseinheit 42 auch insgesamt den Betriebspunkt der Windenergieanlage, der auch als Arbeitspunkt bezeichnet werden kann. Hierzu kommt besonders in Betracht, auch die aktuelle Leistung P , nämlich die aktuelle Anlagenleistung, also die Leistung, die die Windenergieanlage derzeit abgibt, zu berücksichtigen.

Diese aktuelle Leistung P erhält die Berechnungseinheit 42 von der Steuereinheit 36. Die Steuereinheit 36 kennt diese aktuelle Leistung P üblicherweise, weil sie diese Leistung P zur Steuerung der Windenergieanlage selbst verwendet. Insbesondere stellt die Steuereinheit 36 den Arbeitspunkt der Windenergieanlage ein.

- 5 Vorsorglich wird darauf hingewiesen, dass eine solche Steuerung der Windenergieanlage auch in einer weiteren Steuereinheit durchgeführt werden kann oder dass auch eine gemeinsame zentrale Steuereinheit vorgesehen sein kann, die die Aufgaben der Steuereinheit 36 und der Berechnungseinheit 42 zusammen löst.

10 Aufgrund dieses Betriebspunktes, der somit der Berechnungseinheit 42 zumindest hinsichtlich Drehzahl n und Leistung P bekannt ist, kann nun abgeschätzt werden, bis zu welcher Drehzahl der Rotor 22 abgebremst werden könnte. Daraus ist dann nicht nur die vorhandene Rotationsenergie bestimmbar, sondern auch die verfügbare Rotationsenergie, die ein Teil der insgesamt vorhandenen Rotationsenergie ist.

15 Im Übrigen kann die Berechnungseinheit 42 einen Vorschlag oder Sollwert für eine Drehzahlerhöhung an die Steuereinheit 36 geben, auf die die Drehzahl erhöht werden kann, um dadurch eine höhere Rotationsenergie zu schaffen um dann doch eine höhere verfügbare Rotationsenergie zu erreichen. Dies ist in Figur 3 allerdings nicht weiter dargestellt.

20 Zusätzlich kann für die Auswertung des Betriebspunktes auch der Blattwinkel der Rotorblätter berücksichtigt werden. Dieser Blattwinkel α kann bspw. an den Rotorblättern 16 gemessen werden, was in der Figur 3 angedeutet ist. Alternativ kann auch die Steuereinheit 36 einen solchen Blattwinkel vorgeben und diesen gleichzeitig der Berechnungseinheit 42 übermitteln. Ist bspw. der Blattwinkel im Teillastbetrieb, wenn die Anlage also nicht mit Nennleistung läuft, größer als ein für diesen Betrieb typischer Teillastwinkel, 25 deutet das daraufhin, dass ein stärkerer Wind weht, als nur aufgrund der Drehzahl und der Leistung anzunehmen wäre. Das kann bspw. bedeuten, dass sich der aktuelle Betriebspunkt an einer Flanke einer Drehzahl-/Leistungskennlinie befindet und daher die Drehzahl nicht stark verringert werden kann, da das zu einer starken Leistungseinbuße führen könnte. Das wird bei der Bestimmung der vorhandenen Stützenergie berücksichtigt werden. Ist nun diese verfügbare Stützenergiemenge E_V bestimmt worden, kann die 30 Steuereinheit 36 damit die zusätzlich einzuspeisende Stützleistung bestimmen und die Sollleistung P_S entsprechend erhöhen und einen entsprechenden Sollwert an den Wechselrichter 6 geben.

Zusätzlich kann die Steuereinheit 36 dazu den Erregerstrom I_E erhöhen und dazu ein entsprechendes Signal an den Stromsteller 30 geben.

Grundsätzlich kommt auch in Betracht, statt eines passiven Gleichrichters 32 einen gesteuerten Gleichrichter zu verwenden und darüber die Statorströme zu verändern und
5 dadurch die Generatorleistung zu verändern. Durch die Veränderung der Generatorleistung, besonders durch Erhöhung des Erregerstroms I_E wird der Rotor 22 abgebremst und dadurch die Rotationsenergie entnommen.

Es ist nun möglich, bereits die zur Netzstützung einspeisende Stützleistung im Lichte der verfügbaren Stützenergiemenge vorzuplanen und dadurch eine Stützung des elektrischen
10 Versorgungsnetzes zu erreichen und gleichzeitig zu gewährleisten, dass die Windenergieanlage zu jedem Zeitpunkt einen stabilen Betriebspunkt aufweist. Besonders wird dadurch verhindert, dass die Windenergieanlage während sie zusätzliche Stützleistung in das elektrische Versorgungsnetz einspeist plötzlich in ihrer Leistungsabgabe zusammenbricht.

Eine Möglichkeit, in Abhängigkeit der verfügbaren Stützenergie E_V eine Stützleistung P_A
15 zu planen, ist in Figur 4 veranschaulicht. Dort ist die verfügbare Stützenergiemenge bzw. die verfügbare Stützenergie E_V in Abhängigkeit der Zeit t aufgetragen und in demselben Diagramm ist die Stützleistung P_A ebenfalls aufgetragen. Die dort veranschaulichte Ausführungsform sieht vor, dass die Stützleistung P_A zunächst in Abhängigkeit einer
20 erfassten Unterfrequenz im elektrischen Versorgungsnetz vorgegeben wird und für die Stützenergiemenge E_V geprüft wird, ob diese oberhalb oder unterhalb eines vorgegebenen Grenzwertes liegt, nämlich ob sie unterhalb der Mindeststützenergiemenge E_{min} liegt. Hierfür wird vereinfachend angenommen, dass das Kriterium, das die Stützleistung P_A
25 auslöst, grundsätzlich, bspw. eine zu niedrige Frequenz, zu einer konstanten Stützleistung P_A führen würde. Entsprechend ist für die einzuspeisende Stützleistung P_A zunächst ein konstanter Wert angenommen. Der könnte aber auch bspw. abhängig der Abweichung der Netzfrequenz von einem Netzfrequenzsollwert variieren, oder in Abhängigkeit eines Frequenzgradienten der Netzfrequenz ermittelt werden.

Somit weist diese Stützleistung P_A zunächst den Wert P_{A0} auf und behält diesen von dem
30 Zeitpunkt t_0 bis zum Zeitpunkt t_1 bei. Die verfügbare Stützenergiemenge E_V beginnt zum Zeitpunkt t_0 mit dem maximalen Stützenergiemengenwert E_{max} und fällt aufgrund der konstant eingespeisten Stützleistung P_A bis zum Zeitpunkt t_1 linear ab.

Beim Zeitpunkt t_1 erreicht sie und unterschreitet den Wert der Mindeststützenergiemenge E_{\min} und das führt dazu, dass die Stützleistung P_A reduziert wird.

Die dort gezeigte Ausführungsform schlägt dabei vor, dass die Stützleistung P_A von dem Zeitpunkt t_1 aus linear auf 0 reduziert wird und zwar so, dass dabei genau die zum Zeitpunkt t_1 noch verfügbare Stützenergiemenge aufgebraucht wird. Für den Sonderfall, dass eine Leistung linear von einem Anfangswert, hier nämlich dem konstanten Stützleistungswert P_{A0} auf 0 reduziert wird, lässt sich die dabei benötigte Energie E mit der Formel $E=1/2P \cdot t$ berechnen. Da hier die zu verbrauchende Energie der zum Zeitpunkt t_1 noch vorhandenen Energie entspricht, nämlich der Mindeststützenergiemenge E_{\min} und die Anfangsleistung der Leistung P_{A0} entspricht, berechnet sich die Zeit, in der die Leistung linear auf 0 reduziert wird mit der Formel $t=2 \cdot E_{\min}/P_{A0}$. Die so berechnete Zeit ist die Zeitdauer gemäß dem Diagramm der Figur 4 von dem Zeitpunkt t_1 bis zum Zeitpunkt t_2 . Dieser Verlauf ist in der Figur 4 veranschaulicht und mit dieser Variante lässt sich zunächst eine große Stützleistung P_A einspeisen, die erst spät reduziert wird und auch mit den reduzierten Werten anfangs noch einen Stützbeitrag leisten kann. Gleichzeitig wird die verfügbare Stützenergiemenge E_V optimal ausgenutzt.

Figur 5 veranschaulicht Zusammenhänge zwischen der Drehzahl n und verfügbarer Rotationsenergie. Das Diagramm zeigt auf der Abszisse die Drehzahl n vom Wert 0 bis über eine erweiterte Drehzahl n_e hinaus. Dazu ist die Rotationsenergie E_R in Abhängigkeit der Drehzahl n aufgetragen. Es ist zu erkennen, dass die Rotationsenergie E_R bei der Drehzahl mit dem Wert 0 ebenfalls 0 ist und von dort quadratisch mit der Drehzahl n ansteigt.

Bei dem Diagramm der Figur 5 wird angenommen, dass die Windenergieanlage mit der Drehzahl n_0 betrieben wird. Das stellt dort die normale Drehzahl dar, die insbesondere bei der dabei vorherrschenden Windgeschwindigkeit üblicherweise verwendet werden würde. Diese Drehzahl n_0 ist somit eine Rotationsenergie E_{R0} zugeordnet. Diese Rotationsenergie E_{R0} ist allerdings nicht die verfügbare Rotationsenergiemenge, weil die Drehzahl nur bis zur minimalen Drehzahl n_{\min} reduziert werden darf. Entsprechend ist hier die verfügbare Rotationsenergiemenge nur die als E_{V0} gekennzeichnete normale verfügbare Rotationsenergiemenge. Genau diese normale verfügbare Rotationsenergiemenge E_{V0} wird hier als verfügbare Stützenergiemenge berechnet, unterstellt dass keine weiteren Energiequellen vorhanden sind.

Figur 5 veranschaulicht auch, dass eine Erhöhung der verfügbaren Rotationsenergiemenge möglich ist, wenn die Windenergieanlage mit einer höheren Drehzahl betrieben wird. Dazu wird veranschaulichend die erhöhte oder erweiterte Drehzahl n_e vorgeschlagen. Die führt zu einem Energiewert E_{Re} als erweiterte Rotationsenergie des Rotors.

5 Durch diese Erhöhung der Drehzahl auf diese erweiterte Drehzahl n_e lässt sich somit die verfügbare Rotationsenergiemenge auf den Wert der erweiterten verfügbaren Rotationsenergiemenge E_{Ve} erhöhen. Aufgrund des quadratischen Zusammenhangs zwischen der Rotationsenergie E_R und der Drehzahl n hat diese vorgeschlagene Drehzahlerhöhung einen sehr großen Effekt. Vorsorglich wird darauf hingewiesen, dass die Figur 5 veranschaulichend ist und je nach Betriebspunkt auch kleinere Drehzahlerhöhungen in Betracht kommen und insoweit Figur 5 nur veranschaulichend ist.

10

Ansprüche

1. Verfahren zum Einspeisen elektrischer Leistung in ein elektrisches Versorgungsnetz
mittels wenigstens einer Windenergieanlage an einem Netzanschlusspunkt, wobei
- 5
- die wenigstens eine Windenergieanlage einen aerodynamischen Rotor mit Rotorblättern aufweist und der Rotor ein Trägheitsmoment aufweist und mit variabler Rotordrehzahl betrieben werden kann,
 - die wenigstens eine Windenergieanlage einen Generator aufweist zum Erzeugen einer Generatorleistung,
- 10
- mehrere Energieerzeuger Leistung in das elektrische Versorgungsnetz einspeisen
- und
- mehrere Verbraucher Leistung aus dem elektrischen Versorgungsnetz entnehmen,
- 15
- sodass sich im elektrischen Versorgungsnetz eine Leistungsbilanz zwischen der eingespeisten und der entnommenen Leistung ergibt, die positiv ist, wenn mehr Leistung eingespeist als entnommen wird, und das Verfahren umfasst die Schritte:
- Einspeisen einer elektrischen Grundleistung in Abhängigkeit verfügbarer Windleistung,
- 20
- Vorgeben einer zusätzlich einzuspeisenden Stützleistung
- und
- zusätzliches Einspeisen der vorgegebenen zusätzlich einzuspeisenden Stützleistung zur Stützung des elektrischen Versorgungsnetzes, wobei
 - eine zur einzuspeisenden Stützleistung verfügbare Stützenergiemenge bestimmt wird und
- 25
- das Vorgeben der zusätzlich einzuspeisenden Stützleistung in Abhängigkeit der bestimmten verfügbaren Stützenergiemenge erfolgt.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
- dadurch gekennzeichnet, dass
- 30
- die verfügbare Stützenergiemenge wenigstens ermittelt wird aus
- dem Trägheitsmoment des Rotors,
 - wenigstens einer Betriebskenngröße des aktuellen Betriebspunktes der Windenergieanlage, und
 - einer zulässigen unteren Rotordrehzahl.

3. Verfahren nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
- die wenigstens eine Betriebsgröße des aktuellen Betriebspunktes wenigstens eine Größe umfasst, ausgewählt aus der Liste bestehend aus
 - 5 - der aktuellen Rotordrehzahl,
 - der aktuellen Generatorleistung und
 - der vorherrschenden Windgeschwindigkeit,
- und dass außerdem oder alternativ
- die zulässige untere Rotordrehzahl abhängig des aktuellen Betriebspunktes
 - 10 bestimmt wird, insbesondere abhängig der aktuellen Drehzahl.
4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
- zum Einspeisen der elektrischen Leistung wenigstens ein Wechselrichter verwendet wird und die zusätzlich einzuspeisende Stützleistung abhängig einer Auslastung des wenigstens einen Wechselrichters und außerdem oder alternativ abhängig einer eingespeisten Blindleistung bestimmt wird.
- 15
5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
- zur Ermittlung der verfügbaren Stützenergiemenge eine Leistungseinbuße durch eine Reduzierung der Rotordrehzahl berücksichtigt wird.
- 20
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
- die wenigstens eine Windenergieanlage zur Bereitstellung der Stützleistung mit wenigstens einem elektrischen Speicher gekoppelt ist und zur Ermittlung der verfügbaren Stützenergiemenge eine Rotationsenergie des Rotors und jeweils ein Speicherinhalt des wenigstens einen elektrischen Speichers berücksichtigt wird, wobei der wenigstens eine elektrische Speicher eine Batterie und/oder einen Hochleistungskondensator umfasst.
- 25
7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
- beim Einspeisen einer Stützleistung die verfügbare Stützenergiemenge
- in Abhängigkeit der eingespeisten Stützleistung und außerdem oder alternativ
 - 30

- unter Berücksichtigung eines Änderungsverhaltens der Windenergieanlage als Reaktion auf die Einspeisung der Stützleistung, besonders unter Berücksichtigung einer Abnahme der Rotordrehzahl als Reaktion auf eine Abgabe von Rotationsenergie des Rotors
5 aktualisiert wird.
- 8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die wenigstens eine Windenergieanlage mit wenigstens einem in seinem Verbrauch steuerbar reduzierbaren Verbraucher gekoppelt ist und die Bestimmung der verfügbaren Stützenergiemenge eine durch eine Reduzierung des wenigstens einen steuerbar reduzierbaren Verbrauchers verfügbare Energiemenge berücksichtigt.
- 10
- 9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
15 zum Vorgeben der Stützleistung ein Verlauf der Stützleistung in Abhängigkeit der verfügbare Stützenergiemenge vorgegeben wird, insbesondere dass das Vorgeben der Stützleistung abhängig der Stützenergiemenge über einen zeitabhängigen Verlauf erfolgt.
- 20 10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die wenigstens eine Windenergieanlage in einem Betriebspunkt betrieben wird, der sich bei Abgabe von Rotationsenergie zunächst verbessert, insbesondere dass sie mit einer so hohen Rotordrehzahl betrieben wird, dass sich die Rotordrehzahl durch Abgabe von Schwungenergie temporär auf eine leistungsoptimale Rotordrehzahl verringert.
25
- 11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
 - die Stützleistung in Abhängigkeit eines Netzzustand des elektrischen Versorgungsnetzes vorgegeben wird, insbesondere in Abhängigkeit der Leistungsbilanz des elektrischen Versorgungsnetzes, wobei
 - 30 - zusätzlich eine Leistungsobergrenze in Abhängigkeit der verfügbaren Stützenergiemenge bestimmt und eingehalten wird und

- die vorgegebene Stützleistung mit einem zeitlich abfallenden Verlauf, insbesondere einer zeitlich abfallenden Flanke reduziert wird, sobald die verfügbare Stützenergiemenge einen vorgegebenen Grenzwert, insbesondere eine Mindeststützenergiemenge erreicht hat.
- 5 12. Windenergieanlage zum Einspeisen elektrischer Leistung in ein elektrisches Versorgungsnetz an einem Netzanschlusspunkt, umfassend
- einen aerodynamischen Rotor mit Rotorblättern und der Rotor weist ein Trägheitsmoment auf und kann mit variabler Rotordrehzahl betrieben werden,
 - 10 - einen Generator zum Erzeugen einer Generatorleistung,
 - eine Steuereinheit zum Steuern eines Einspeisens einer elektrischen Grundleistung in Abhängigkeit verfügbarer Windleistung,
 - ein Vorgabemittel zum Vorgeben einer zusätzlich einzuspeisenden Stützleistung,
 - 15 - eine Einspeisevorrichtung, zum Einspeisen der vorgegebenen Stützleistung zur Stützung des elektrischen Versorgungsnetzes,
 - eine Berechnungseinheit zum Bestimmen einer zur einzuspeisenden Stützleistung verfügbaren Stützenergiemenge und wobei
 - die Stützleistung in Abhängigkeit der bestimmten verfügbaren Stützenergiemenge vorgegeben wird.
 - 20
13. Windenergieanlage nach Anspruch 12, dazu vorbereitet, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11 auszuführen.
14. Windpark mit mehreren Windenergieanlagen, wobei
- Windenergieanlagen nach Anspruch 12 oder 13 verwendet werden und/oder
 - 25 - ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11 verwendet wird.

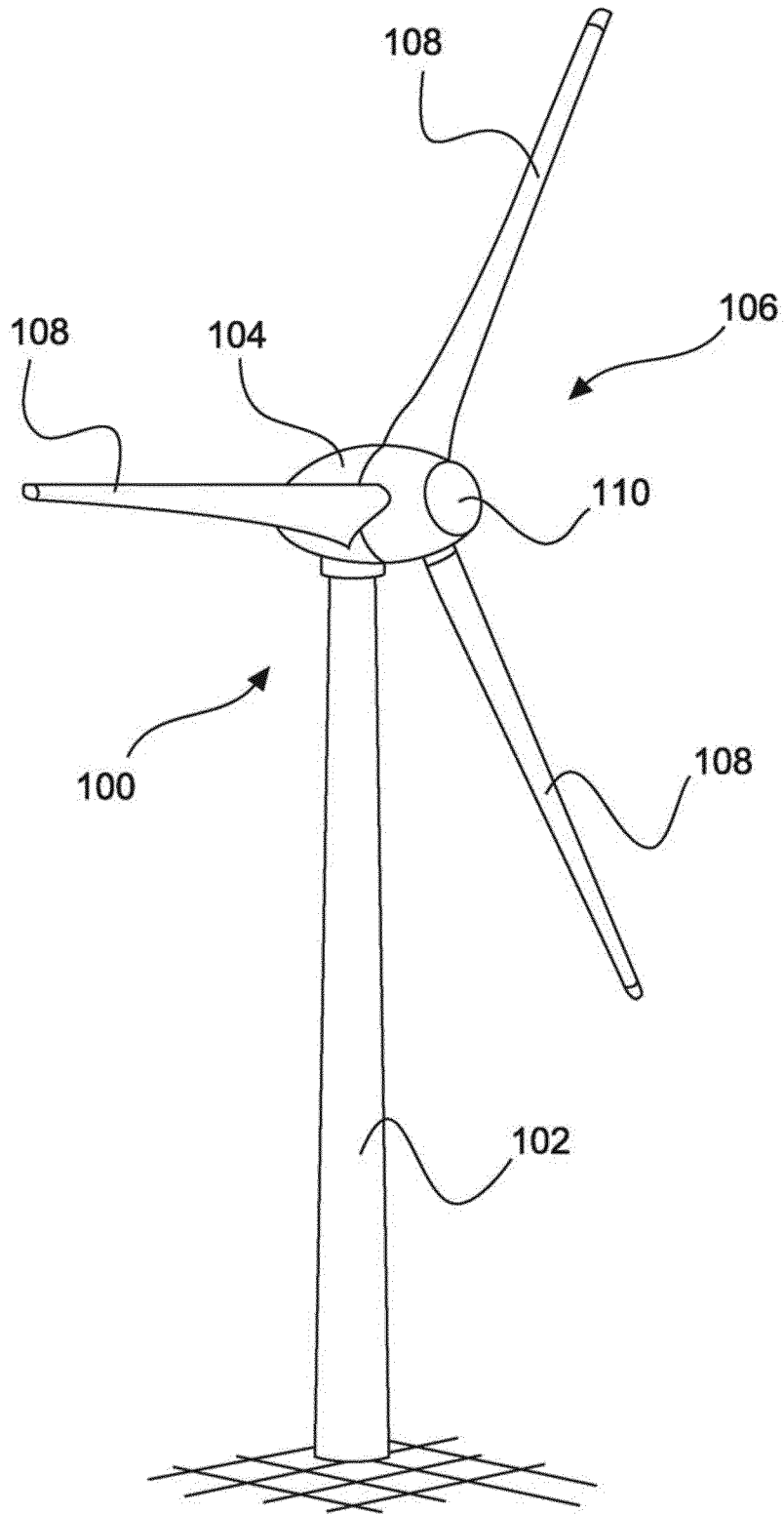


Fig. 1

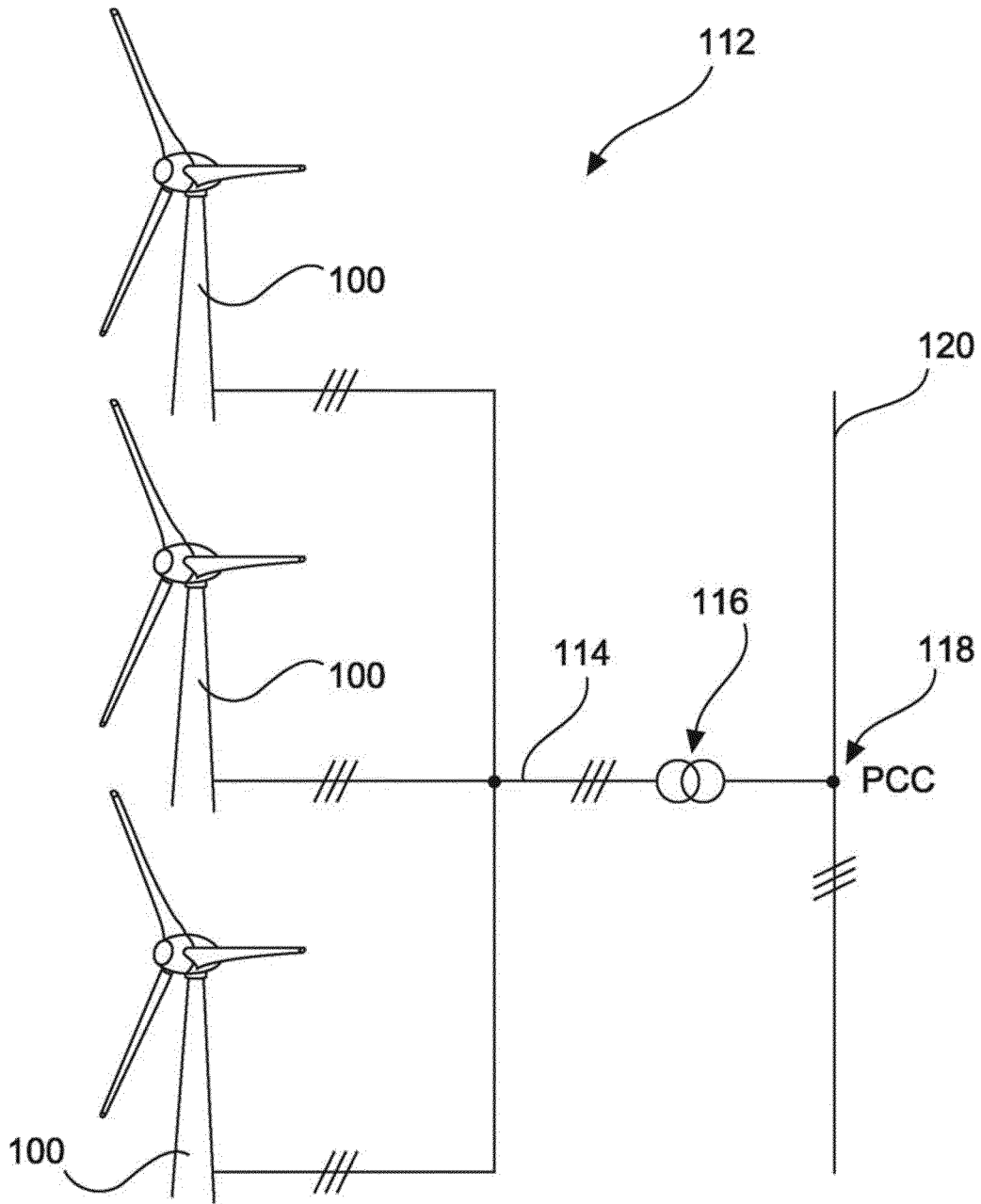


Fig. 2

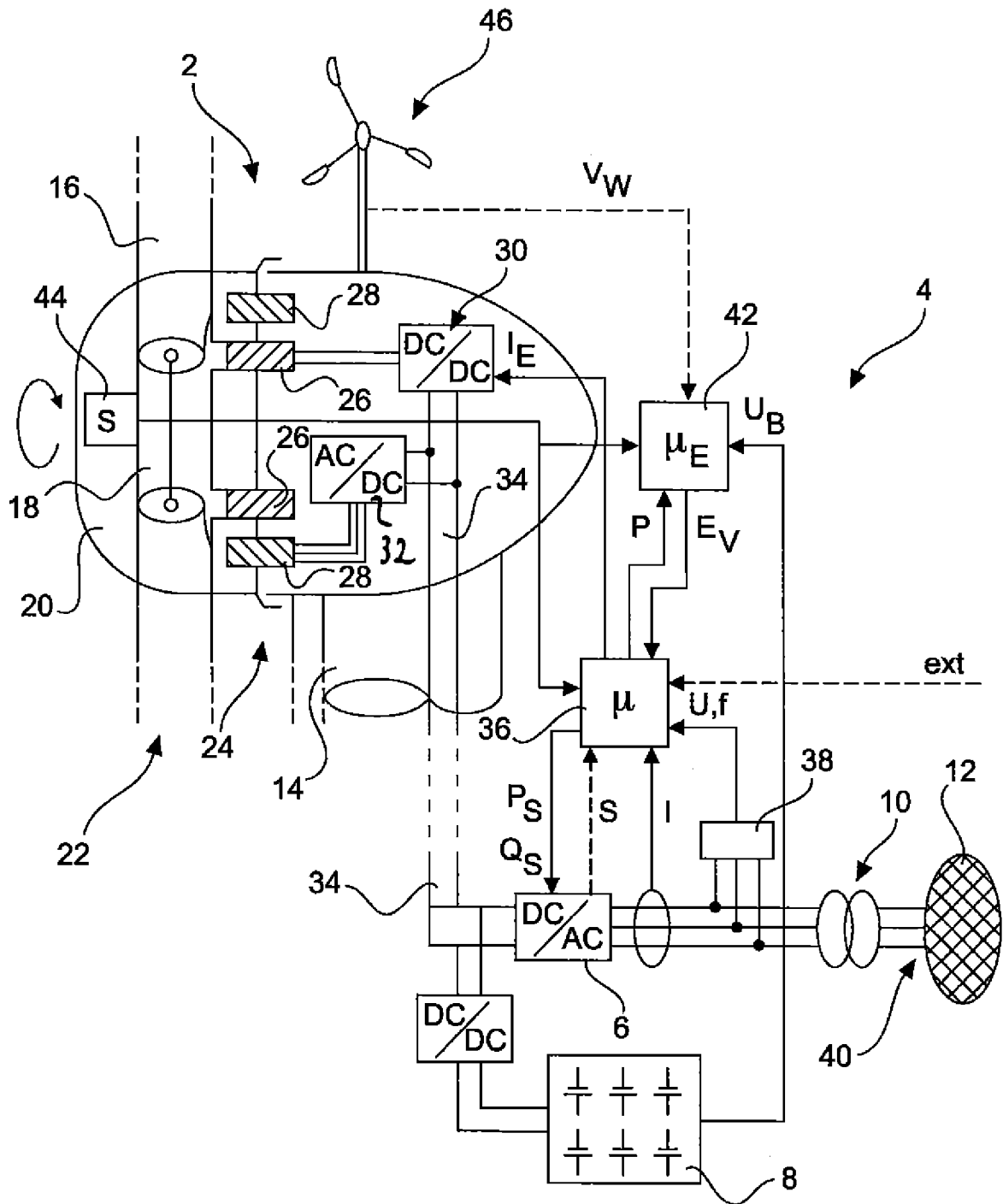


Fig. 3

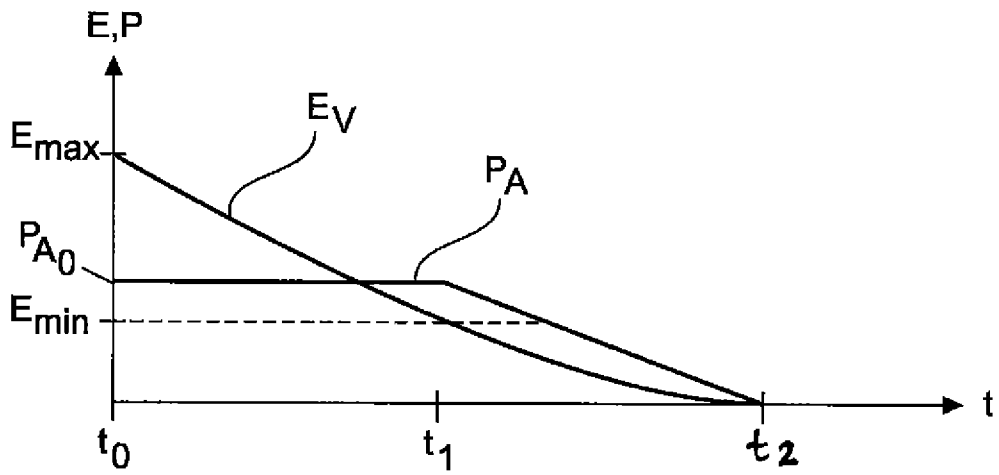


Fig. 4

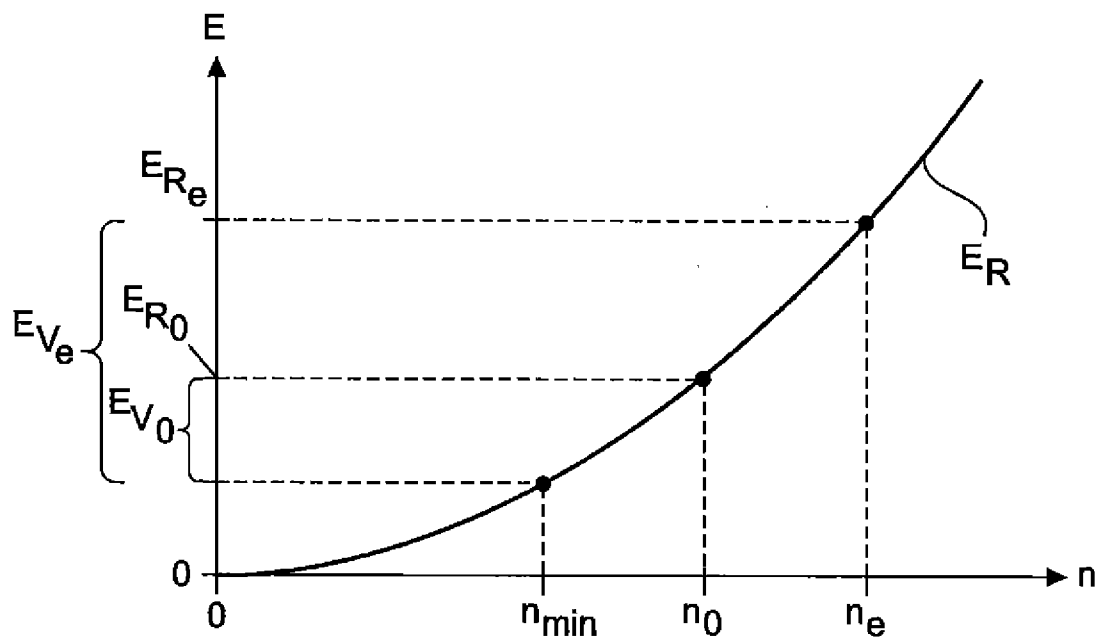


Fig. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/080193

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H02J3/14 H02J3/38
ADD.
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H02J
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 10 2010 014165 A1 (REPOWER SYSTEMS AG [DE]) 13 October 2011 (2011-10-13)	1-5,7, 10-14
Y	paragraphs [0001] - [0046]; figures 3-7	6,8,9
X	WO 2005/025026 A1 (REPOWER SYSTEMS AG [DE]; FORTMANN JENS [DE]) 17 March 2005 (2005-03-17)	1-5,7, 10-14
Y	pages 1-17; figures 1,2	6,8,9
Y	EP 2 306 001 A2 (GEN ELECTRIC [US]) 6 April 2011 (2011-04-06)	6
	paragraphs [0003], [0004], [0012]	
Y	WO 2013/135592 A1 (WOBLEN PROPERTIES GMBH [DE]) 19 September 2013 (2013-09-19)	8
	page 2 - page 3	
	----- -/--	

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 14 March 2018	Date of mailing of the international search report 22/03/2018
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Krasser, Bernhard

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/080193

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2012/041527 A1 (SIEMENS AG [DE]; ANDRESEN BJOERN [DK]; FRYDENBJERG MICHAEL NOERTOFT []) 5 April 2012 (2012-04-05) pages 9,10 -----	9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/080193

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102010014165 A1	13-10-2011	CA 2794856 A1	13-10-2011
		CN 102834606 A	19-12-2012
		DE 102010014165 A1	13-10-2011
		DK 2556247 T3	19-02-2018
		EP 2556247 A2	13-02-2013
		ES 2657538 T3	05-03-2018
		US 2013026759 A1	31-01-2013
		WO 2011124696 A2	13-10-2011

WO 2005025026 A1	17-03-2005	EP 1665494 A1	07-06-2006
		US 2007085343 A1	19-04-2007
		WO 2005025026 A1	17-03-2005

EP 2306001 A2	06-04-2011	CN 102035213 A	27-04-2011
		EP 2306001 A2	06-04-2011
		US 2011074151 A1	31-03-2011

WO 2013135592 A1	19-09-2013	AR 090270 A1	29-10-2014
		AU 2013231401 A1	11-09-2014
		AU 2016202204 A1	05-05-2016
		CA 2865549 A1	19-09-2013
		CL 2014002438 A1	16-01-2015
		CN 104205547 A	10-12-2014
		DE 102012204220 A1	19-09-2013
		EP 2826121 A1	21-01-2015
		JP 5977843 B2	24-08-2016
		JP 2015511808 A	20-04-2015
		KR 20140138957 A	04-12-2014
		MX 340551 B	14-07-2016
		NZ 629058 A	26-08-2016
		RU 2014141647 A	10-05-2016
		TW 201347352 A	16-11-2013
		US 2015069836 A1	12-03-2015
		WO 2013135592 A1	19-09-2013
		ZA 201406042 B	28-10-2015

WO 2012041527 A1	05-04-2012	AU 2011307125 A1	14-03-2013
		BR 112013006534 A2	31-05-2016
		CA 2812627 A1	05-04-2012
		CA 2812708 A1	05-04-2012
		CN 103119817 A	22-05-2013
		CN 103119818 A	22-05-2013
		DK 2594004 T3	30-03-2015
		DK 2594005 T3	28-11-2016
		EP 2594004 A1	22-05-2013
		EP 2594005 A1	22-05-2013
		ES 2537445 T3	08-06-2015
		JP 2013546290 A	26-12-2013
		KR 20130100159 A	09-09-2013
		KR 20170126017 A	15-11-2017
		NZ 607114 A	31-10-2014
		RU 2013119655 A	10-11-2014
		US 2013175871 A1	11-07-2013
		US 2014361537 A1	11-12-2014
		WO 2012041527 A1	05-04-2012
		WO 2012041543 A1	05-04-2012

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. H02J3/14 H02J3/38
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 H02J

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2010 014165 A1 (REPOWER SYSTEMS AG [DE]) 13. Oktober 2011 (2011-10-13)	1-5,7, 10-14
Y	Absätze [0001] - [0046]; Abbildungen 3-7	6,8,9
X	WO 2005/025026 A1 (REPOWER SYSTEMS AG [DE]; FORTMANN JENS [DE]) 17. März 2005 (2005-03-17)	1-5,7, 10-14
Y	Seiten 1-17; Abbildungen 1,2	6,8,9
Y	EP 2 306 001 A2 (GEN ELECTRIC [US]) 6. April 2011 (2011-04-06)	6
	Absätze [0003], [0004], [0012]	
Y	WO 2013/135592 A1 (WOBBEN PROPERTIES GMBH [DE]) 19. September 2013 (2013-09-19)	8
	Seite 2 - Seite 3	
	-/--	

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
14. März 2018	22/03/2018

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Krasser, Bernhard
--	--

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	WO 2012/041527 A1 (SIEMENS AG [DE]; ANDRESEN BJOERN [DK]; FRYDENBJERG MICHAEL NOERTOFT []) 5. April 2012 (2012-04-05) Seiten 9,10 -----	9

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/080193

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102010014165 A1	13-10-2011	CA 2794856 A1	13-10-2011
		CN 102834606 A	19-12-2012
		DE 102010014165 A1	13-10-2011
		DK 2556247 T3	19-02-2018
		EP 2556247 A2	13-02-2013
		ES 2657538 T3	05-03-2018
		US 2013026759 A1	31-01-2013
		WO 2011124696 A2	13-10-2011

WO 2005025026 A1	17-03-2005	EP 1665494 A1	07-06-2006
		US 2007085343 A1	19-04-2007
		WO 2005025026 A1	17-03-2005

EP 2306001 A2	06-04-2011	CN 102035213 A	27-04-2011
		EP 2306001 A2	06-04-2011
		US 2011074151 A1	31-03-2011

WO 2013135592 A1	19-09-2013	AR 090270 A1	29-10-2014
		AU 2013231401 A1	11-09-2014
		AU 2016202204 A1	05-05-2016
		CA 2865549 A1	19-09-2013
		CL 2014002438 A1	16-01-2015
		CN 104205547 A	10-12-2014
		DE 102012204220 A1	19-09-2013
		EP 2826121 A1	21-01-2015
		JP 5977843 B2	24-08-2016
		JP 2015511808 A	20-04-2015
		KR 20140138957 A	04-12-2014
		MX 340551 B	14-07-2016
		NZ 629058 A	26-08-2016
		RU 2014141647 A	10-05-2016
		TW 201347352 A	16-11-2013
		US 2015069836 A1	12-03-2015
		WO 2013135592 A1	19-09-2013
ZA 201406042 B	28-10-2015		

WO 2012041527 A1	05-04-2012	AU 2011307125 A1	14-03-2013
		BR 112013006534 A2	31-05-2016
		CA 2812627 A1	05-04-2012
		CA 2812708 A1	05-04-2012
		CN 103119817 A	22-05-2013
		CN 103119818 A	22-05-2013
		DK 2594004 T3	30-03-2015
		DK 2594005 T3	28-11-2016
		EP 2594004 A1	22-05-2013
		EP 2594005 A1	22-05-2013
		ES 2537445 T3	08-06-2015
		JP 2013546290 A	26-12-2013
		KR 20130100159 A	09-09-2013
		KR 20170126017 A	15-11-2017
		NZ 607114 A	31-10-2014
		RU 2013119655 A	10-11-2014
		US 2013175871 A1	11-07-2013
		US 2014361537 A1	11-12-2014
		WO 2012041527 A1	05-04-2012
WO 2012041543 A1	05-04-2012		
